



FABRE – Consorzio di ricerca per la valutazione di ponti viadotti e altre strutture

Ponti, viadotti e gallerie esistenti: ricerca, innovazione e applicazioni

2- 4 Febbraio 2022, Lucca



Applicazione di metodi probabilistici bayesiani per la valutazione del tiro sui pendini di impalcati sospesi



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Andrea Dall'Asta

Nicola Ceccolini

Laura Gioiella

Fabio Micozzi



Laura Ragni

Tiranti in barre di acciaio

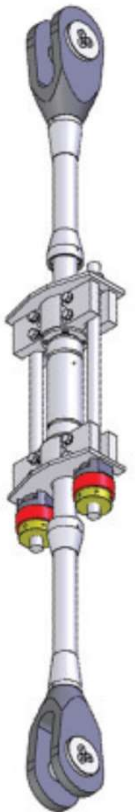


Identificazione e controllo del tiro

- Le modalità di messa in opera rendono difficile il controllo diretto del tiro
- Il sistema presenta una rigidità flessionale più elevata dei sistemi a fune (soprattutto quelli corti) e l'individuazione del tiro mediante prove dinamiche non è semplice
- “difetti” o variazioni di tesatura possono indurre incrementi sensibili di sollecitazione sugli elementi contigui e sui pendini più corti

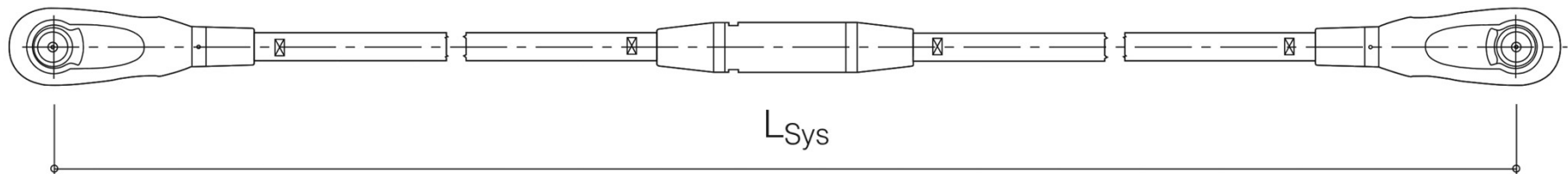
Obiettivo

- Stimare i valori più probabili di rigidità e tiro, insieme alla affidabilità dei valori trovati



Aspetti critici della modellazione

- Grado effettivo di vincolo (attrito cerniere sferiche e rigidità del collegamento)
- Rigidità flessionale con variazioni significative (tenditori e collegamenti)
- Distribuzioni di massa non costante
- Difficoltà nel definire un modello FEM con numero ridotto di parametri (compatibile con il numero di frequenze misurate)



Modello

Modellazione basata su approccio globale per caratterizzare i parametri più significative (risultato ottimale per i gdl considerati)

Moto perturbato

forma locale

$$-\left(\bar{B}v''\right)'+\left(\bar{N}v'\right)'=\ddot{v}$$

forma globale (debole)

$$\left(\bar{B}u'',w''\right)+\left(\bar{N}u',w'\right)-\omega^2\left(u,w\right)=0 \quad \forall w \in U$$

Soluzione numerica

$$u \cong \alpha_k \varphi_k \quad \bar{B} \cong b_l \beta_l \quad \bar{N} \cong n_m \nu_m$$

$$\left[b_l\left(\varphi_j'',\beta_l\varphi_k''\right)+n_m\left(\varphi_j',\nu_m\varphi_k'\right)\right]\alpha_k-\omega^2\left(\varphi_j,\varphi_k\right)\alpha_k=0$$

$$\left[b_l\mathbf{K}_l+n_m\mathbf{N}_m\right]\boldsymbol{\alpha}-\omega^2\mathbf{I}\boldsymbol{\alpha}=0$$

Individuazione dei parametri – metodo bayesiano

Formulazione

$$f(\mathcal{G}|d) = \frac{f(d|\mathcal{G})f(\mathcal{G})}{f(d)}$$

Struttura dei dati (uno-più tiri)

$$d = [\omega_1^2, \dots, \omega_{N_d}^2]$$

Modello probabilistico di definizione delle grandezze osservate

$$\mathcal{M} \leftrightarrow \mathcal{G}$$

$$\omega_k^2 = \lambda_k \left(\mathbf{K}(\mathbf{b}) + \mathbf{N}(\mathbf{n}) \right) \cdot \boldsymbol{\varepsilon}(\mathbf{I}, \boldsymbol{\Sigma})$$

$$\mathcal{G} = [\mathbf{b}, \mathbf{n}, \boldsymbol{\Sigma}]$$

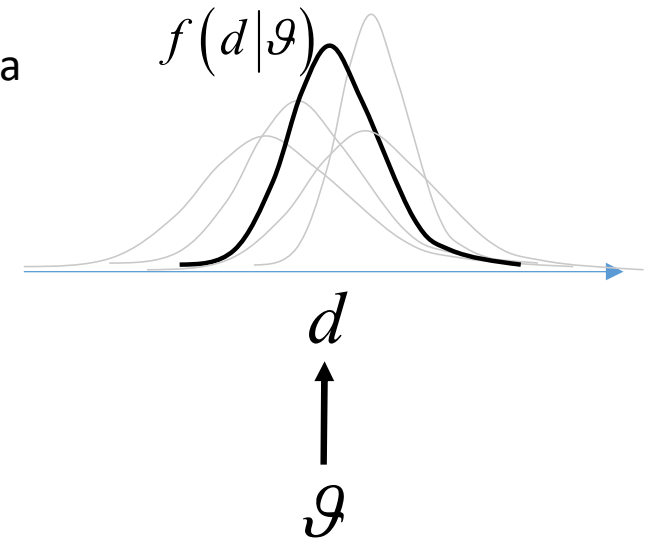
$$\mathbf{b} = [b_1, \dots, b_{N_b}]$$

$$\mathbf{n} = [n_1, \dots, n_{N_n}]$$

$$\boldsymbol{\Sigma} = \begin{bmatrix} \sigma_{1,1} & \dots & \sigma_{1,N_d} \\ & \dots & \dots \\ Sym & & \sigma_{N_d,N_d} \end{bmatrix}$$

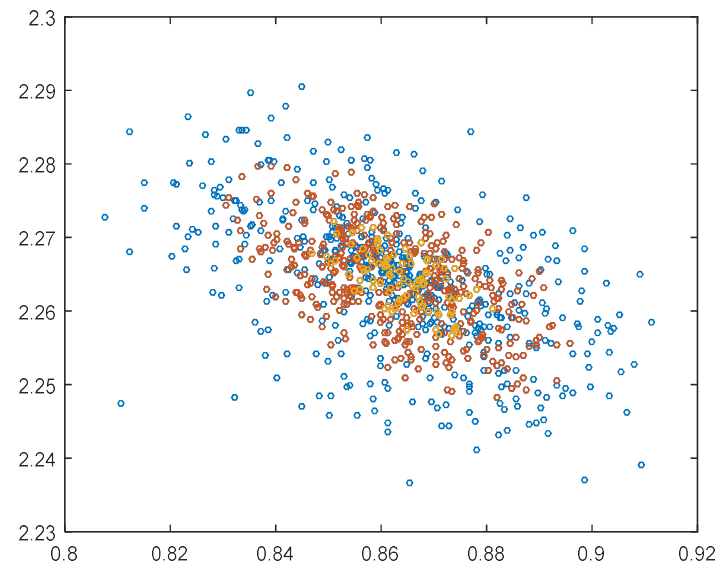
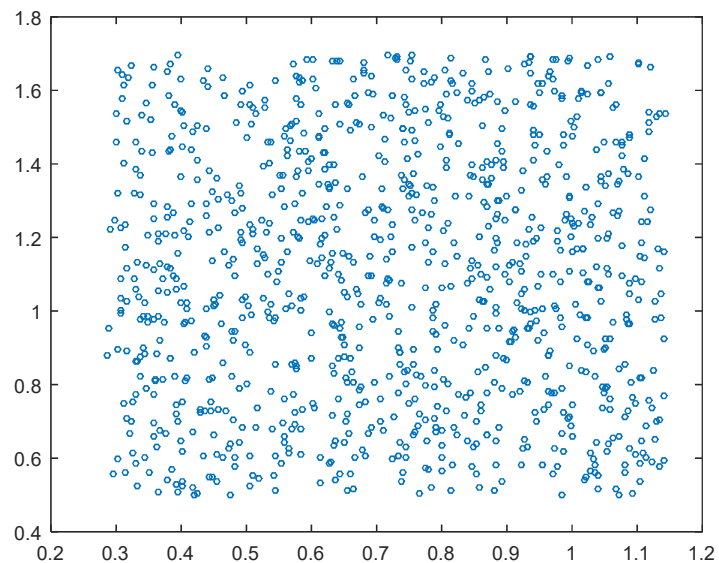
Modello di risposta

$$f(d|\mathcal{G})$$



Soluzione numerica

Monte Carlo Markov Chain (Metropolis Hastings algorithm)
per ottenere risultati anche per distribuzioni "strane" della posterior (multidimensionale)



Parametri caratteristici (media, moda, varianze) stimabili direttamente dei campioni

Risultati

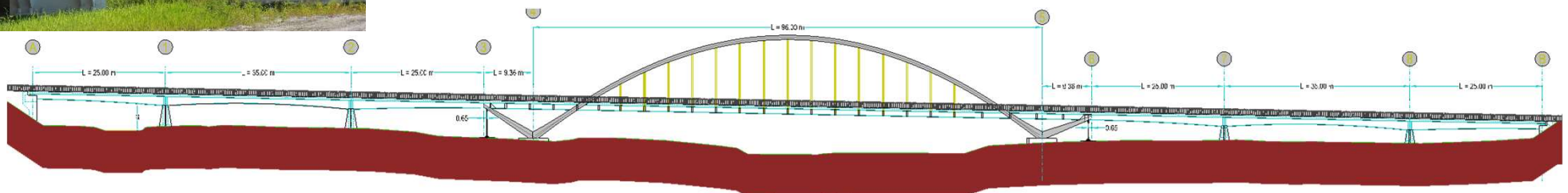
Esempio di applicazione

Caso studio



- due viadotti di accesso (25-35-25) a trave continua
- ponte centrale ad arco a via intermedia (L=114m)
- sistema arco-tirante-puntone e collegamento trasversale
- impalcato a struttura mista, traversi portanti
- 30 coppie di pendini (3-13m) per lato + 4 tiranti su ogni puntone
- isolato con appoggi elastomerici

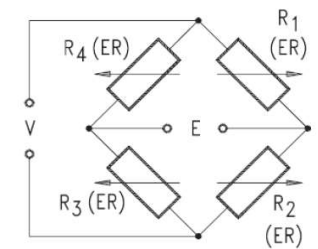
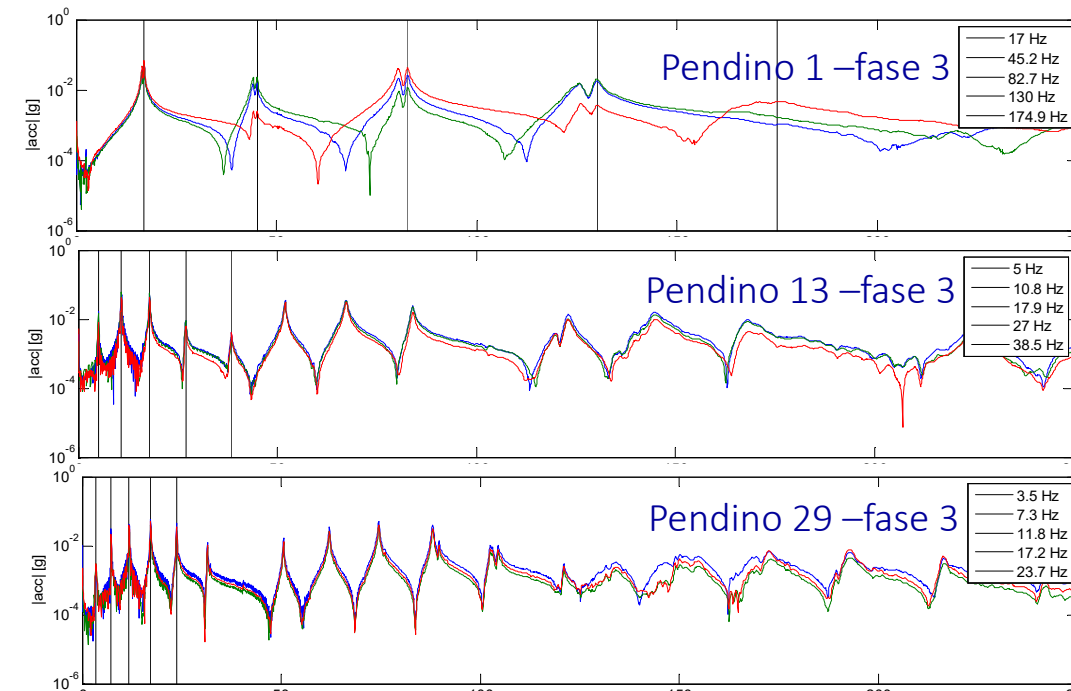
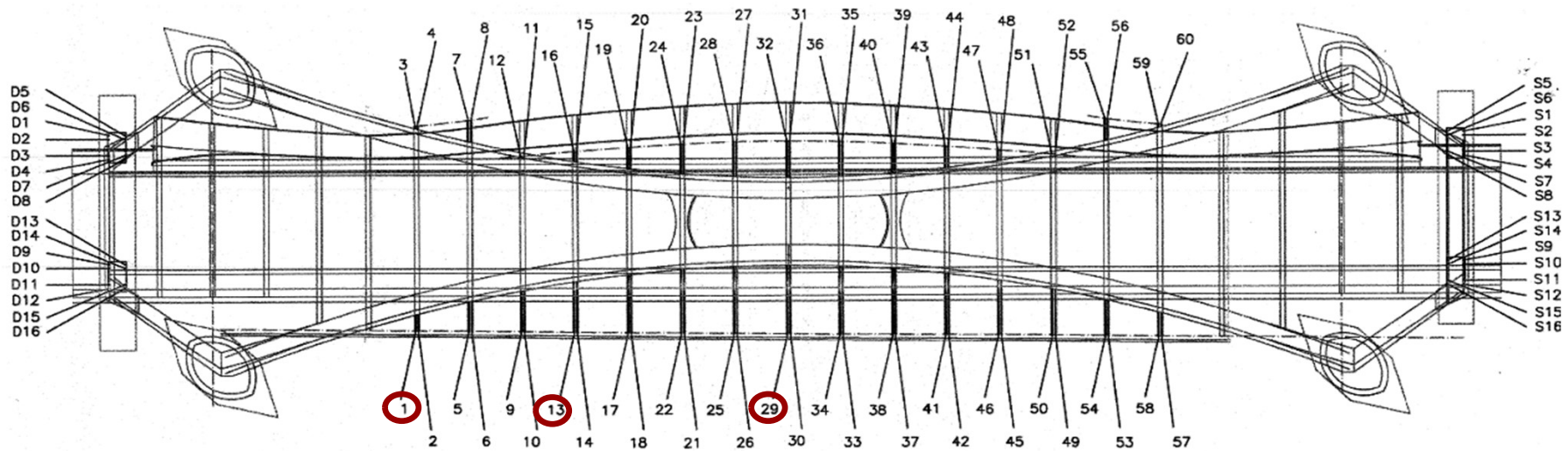
114 m



Risultati

Esempio di applicazione

Dato sperimentale (fasi di carico)



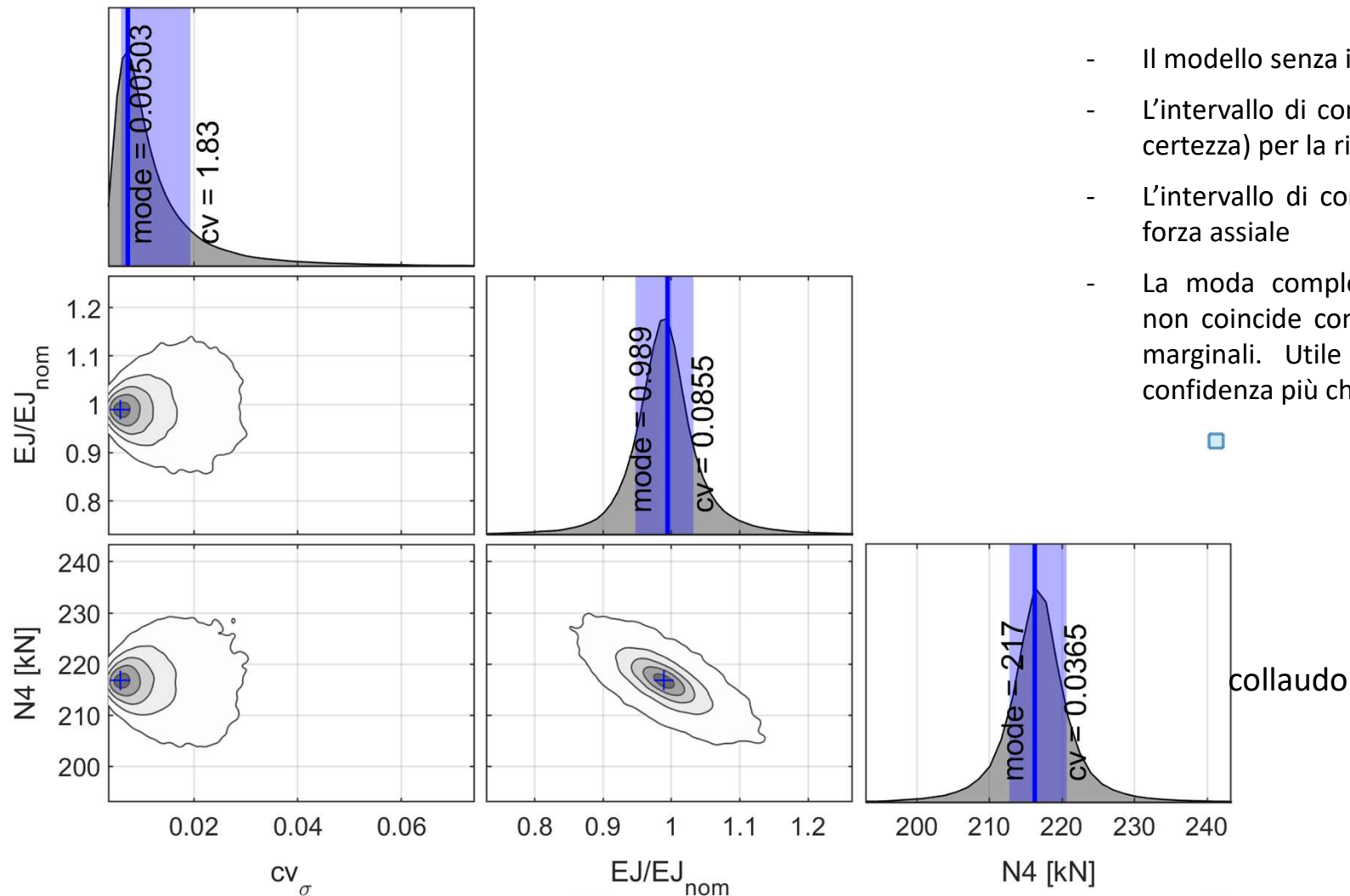
Esempio

Villa Potenza – H3-P3 1 frequenza

Parametri $\mathcal{G} = [b_1, n_1, \sigma]$

Likelihood $\omega_k^2 = \lambda_k(k_{11}(b_1) + N_{11}(n_1)) \cdot \varepsilon(\sigma)$

Prior: impropria (costante)

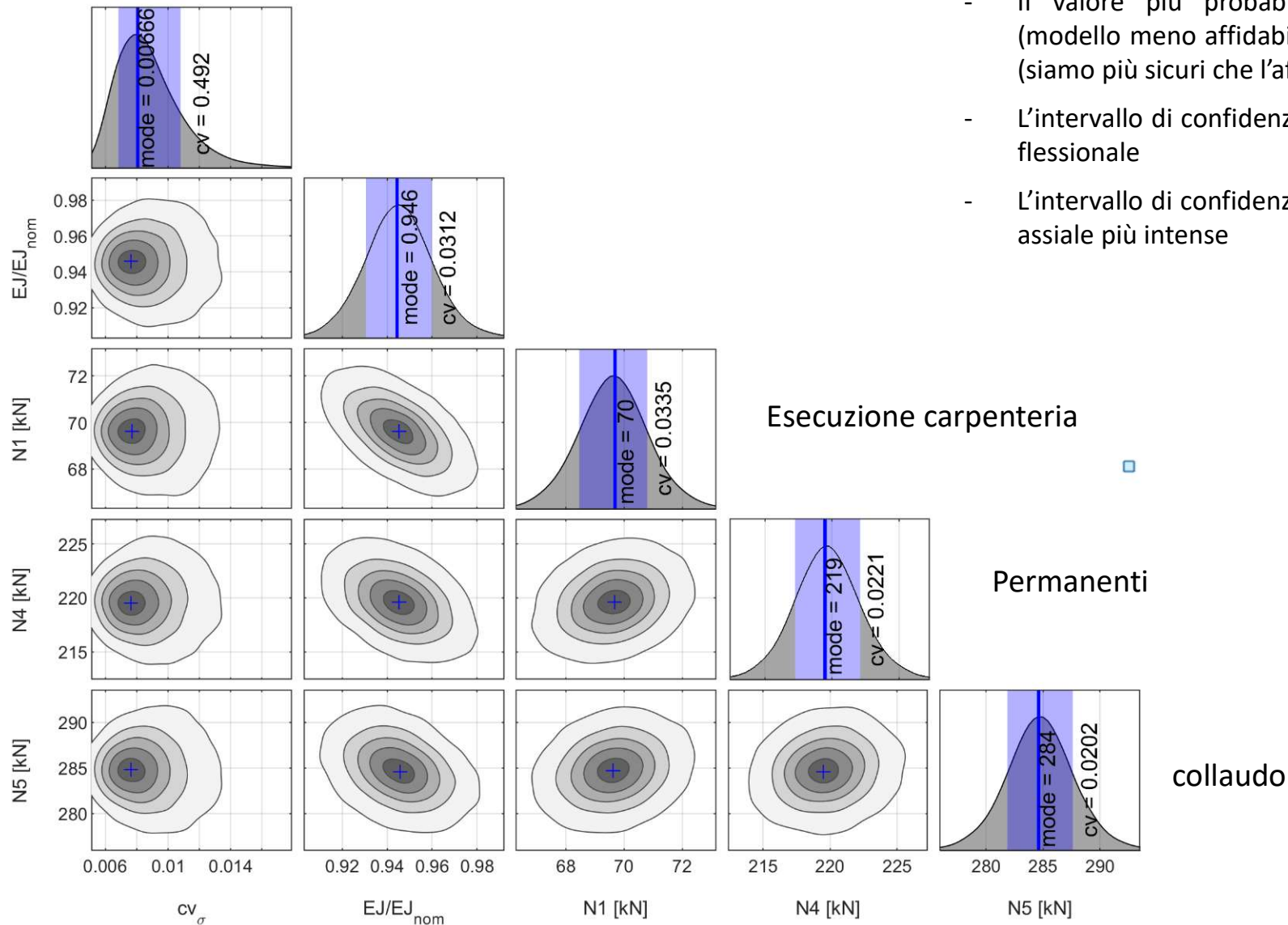


- Il modello senza incertezza è poco probabile
- L'intervallo di confidenza è più grande (meno certezza) per la rigidezza flessionale
- L'intervallo di confidenza è più stretto per la forza assiale
- La moda complessiva (terna più probabile) non coincide con le mode delle distribuzioni marginali. Utile analizzare la regione di confidenza più che singoli intervalli.

Esempio

Villa Potenza – H1-3 frequenze (controlli in fase di esecuzione)

- Il modello senza incertezza è ancora meno probabile
- Il valore più probabile dell'incertezza cresce (modello meno affidabile) e il suo cov diminuisce (siamo più sicuri che l'affidabilità è minore)
- L'intervallo di confidenza si riduce per la rigidezza flessionale
- L'intervallo di confidenza è più stretto per la forza assiale più intense





FABRE – Consorzio di ricerca per la valutazione di ponti viadotti e altre strutture

Ponti, viadotti e gallerie esistenti: ricerca, innovazione e applicazioni

2- 4 Febbraio 2022, Lucca



Applicazione di metodi probabilistici bayesiani per la valutazione del tiro sui pendini di impalcati sospesi



Andrea Dall'Asta

Nicola Ceccolini

Laura Gioiella

Fabio Micozzi



Laura Ragni